

## BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



REC'D	21 DEC 2000
WIPO	PCT

DE 00/03066

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

EJD

**Aktenzeichen:** 100 17 516.3

**Anmeldetag:** 10. April 2000

**Anmelder/Inhaber:** Professor Dr.-Ing. Reinhold N o é , Paderborn/DE

**Bezeichnung:** Verfahren und Anordnung für die optische Informationsübertragung mittels Polarisationsmultiplex

**IPC:** H 04 J, H 04 B

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 16. Oktober 2000  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

Hoß

**PRIORITY  
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

## Beschreibung

Verfahren und Anordnung für die optische Informationsübertragung mittels Polarisationsmultiplex

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren für die optische Informationsübertragung mittels Polarisationsmultiplex nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 und eine Anordnung dafür nach dem Oberbegriff des unabhängigen Patentanspruchs 11.

10

Polarisationsmultiplex (Polarization Division Multiplex, PolDM) kann zur Erhöhung der Kapazität eines optischen Übertragungssystems verwendet werden.

15

Im Tagungsband der European Conference on Optical Communications 1993, Montreux, Schweiz, S. 401-404, Beitrag WeP9.3 (F. Heismann et al., „Automatic Polarization Demultiplexer for Polarization-Multiplexed Transmission Systems“) ist ein optisches PolDM-Übertragungssystem beschrieben. Ein wesentliches Problem ist die Einregelung eines empfängerseitigen Polarisationsstrahlteilers derart, daß die beiden PolDM-Kanäle auf die beiden Ausgänge eines nachgeschalteten Polarisationsstrahlteilers aufgeteilt werden. Dazu wird ein Korrelations-signal des wiedergewonnenen Taktes mit dem empfangenen Signal gebildet und dieses wird durch Einstellung des Polarisationsstrahlteilers maximiert.

20

Die Vorgehensweise gemäß dem Stand der Technik hat mehrere Nachteile:

30

Zunächst verschwindet das Korrelationsprodukt bei Vorgabe einer reinen, wechsellspannungsgekoppelten Pseudozufallsfolge (eine solche war dort offensichtlich nicht gegeben) im zeitlichen Mittel, was die Regelung schwierig oder unmöglich macht.

35

Zur Unterscheidung der beiden PolDM-Kanäle mußten außerdem verschiedene Bitraten gewählt werden, was in der Praxis nicht gestattet ist. Auch mußten deutlich verschiedene optische

Wellenlängen gewählt werden, was ebenfalls in der Praxis unzulässig ist.

5 Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein Verfahren und eine Anordnung für die optische Informationsübertragung mittels Polarisationsmultiplex anzugeben, welches die Nachteile des Standes der Technik vermeidet.

10 Diese Aufgabe wird durch ein in Anspruch 1 angegebenes Verfahren gelöst. Im unabhängigen Patentanspruch 11 wird eine geeignete Anordnung angegeben.

15 Vorteilhafte Weiterbildungen sind in den Unteransprüchen angegeben.

Die Lösung des Problems liegt in der sendeseitigen Konditionierung (Randomisierung) sowie empfängerseitigen Bestimmung und schließlich Minimierung von Interferenzsignalen zwischen dem gewünschten und dem unerwünschten Multiplexkanal. Diese  
20 Interferenzsignale, genauer gesagt, ihre Beträge, werden durch Polarisationsregler minimiert, so daß Nebensprechen bei Polarisationsmultiplex (PolDM) minimiert und gleichzeitig die Nutzsignale wenigstens näherungsweise maximiert werden. Alle genannten Nachteile des Standes der Technik werden dabei vermieden.

In einem Ausführungsbeispiel der Erfindung wird das Polarisationsmultiplexsignal sendeseitig aus einem Lasersignal erzeugt, welches zunächst auf zwei Signalzweige aufgeteilt wird  
30 und dort jeweils getrennt intensitätsmoduliert wird. Diese Signalzweige werden anschließend in einem Polarisationsstrahlteiler mit orthogonalen Polarisationen zusammengeführt. Gleichzeitig wird die Frequenz des Lasers moduliert. Durch  
35 eine Laufzeitdifferenz dieser Zweige führt die Frequenzmodulation zu einer differentiellen Phasenmodulation zwischen den Multiplexsignalen.

Empfängerseitig wird das Signal mit einem Koppler auf zwei Empfängerzweige aufgeteilt. In jedem Empfängerzweig folgt eine eingangsseitige Polarisationsregelung, ein Polarisator zur Unterdrückung des jeweils unerwünschten Polarisationsmulti-  
5 plexkanals und ein konventioneller Photoempfänger mit je einer Photodiode und schließlich den Photodioden nachgeschalteten elektrischen Datensignalregeneratoren. Mittels je eines Filters werden Signalkomponenten entsprechend der sendeseitigen Frequenz, mit der die Sendefrequenz moduliert wird, de-  
10 tektiert. Diese verschwinden nur dann, wenn eines der Multiplexsignale vom Polarisator vollständig unterdrückt wird. Dadurch ergibt sich ein einfaches und gleichzeitig hochwirksames Regelkriterium zur Einstellung des jeweiligen Polarisationstransformators.

15 In diesem Fall empfängt und regeneriert jeder der Regeneratoren nur einen PolDM-Kanal, was der gewünschten empfängerseitigen Trennung der Signale entspricht.

20 Die Erfindung wird anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert.

Es zeigen

Figur 1 einen PolDM-Sender mit nur einem Laser,  
Figur 2 einen PolDM-Sender mit zwei Lasern,  
Figur 3 einen erfindungsgemäßen Empfänger,  
Figur 4 einen Separator/Detektor,  
Figur 5 eine Variante eines Teils der Figur 3,  
Figur 6 ein Vektordiagramm linearer Polarisationszustände,  
30 Figur 7 eine Ausführungsvariante eines Teils des Separators/Detektors.

35 In einer Sendeanordnung gemäß **Figur 1** wird das Ausgangssignal eines Lasers LA durch einen Koppler PMC mit etwa gleichen Leistungen auf zwei Lichtwellenleiter aufgeteilt. Koppler PMC kann z.B. in ein polarisationserhaltender Faserkoppler sein. Die so gewonnenen Signale werden durch je einen Intensitäts-

modulator MO1, MO2 geleitet, wo die Modulationssignale SDD1 bzw. SDD2 aufgeprägt und so die modulierten Signale OS1, OS2 geschaffen werden. Diese werden durch einen Polarisationsstrahlteiler PBSS mit orthogonalen Polarisationen kombiniert.

5 Statt des sendeseitigen Polarisationsstrahlteilers PBSS kann auch ein einfacher optischer Richtkoppler verwendet werden, was allerdings zu einem Leistungsverlust und schlechter definierter Orthogonalität der Signale OS1, OS2 führt.

Für die Verbindungen zwischen den Modulatoren MO1, MO2 und dem Polarisationsstrahlteiler PBSS müssen z.B. ebenfalls polarisationserhaltende Lichtwellenleiter vorgesehen werden, von denen einer um  $90^\circ$  tordiert ist, oder es ist in einer dieser Verbindungen ein Modenwandler vorgesehen.

Um die gewünschte Kohärenz der Signale OS1, OS2 nach der Kombination zu erzielen, muß eine differentielle Phasenmodulation DPM zwischen diesen beiden Teilsignalen vorhanden sein. Dies kann durch einen oder zwei Phasenmodulatoren oder Frequenzverschieber PHMO1, PHMO2 oder einen entsprechenden differentiellen (d.h. zwischen den orthogonal zueinander polarisierten Wellen OS1, OS2 wirksamen) Phasenmodulator oder Frequenzverschieber PHMO12 erfolgen. Im Fall von Frequenzverschiebung ist im Ausgangslichtwellenleiter eine Frequenzdifferenz FD vorhanden. Frequenzverschieber, auch differentiell, können insbesondere akustooptisch oder elektrooptisch arbeiten. Ggf. notwendige optische und/oder elektrische Verstärker sind hier und in den folgende Figuren der Übersichtlichkeit halber nicht dargestellt.

In einem anderen, besonders einfachen und deshalb vorteilhaften Ausführungsbeispiel des PolDM-Senders wird der Laser LA mit einer Frequenzmodulation FM beaufschlagt. Beispielsweise wirkt sich eine sinusförmige Frequenzmodulation mit einem Hub von 293 MHz kaum auf die Sendebandbreite eines 10Gb/s-Senders aus. Durch einen von Null verschieden gewählten Laufzeitdifferenzbetrag  $|DT1-DT2|$  der optischen Laufzeiten DT1, DT2 der durch die Modulatoren MO1, MO2 laufenden Teilsignale zwischen Strahlteiler PMC und Polarisationsstrahlteiler PBSS wird die Frequenzmodulation in eine differentielle Phasenmodulation

DPM der Teilsignale OS1, OS2 hinter PBSS umgewandelt. Wie die Frequenzmodulation FM besitzt sie ein Besselspektrum, jedoch ein anderes. Im Fall eines Laufzeitdifferenzbetrags  $|DT1-DT2|$  der Größe 1 ns (entsprechend etwa 0,2 m Lichtwellenleiter-Längendifferenz) ergibt sich in diesem Beispiel eine sinusförmige differenzielle Phasenmodulation DPM mit einem Modulationshub von 1,84. Bei diesem Modulationshub besitzt die Besse

selfunktion erster Art erster Ordnung (J1) ein Maximum, was bei der Detektion vorteilhaft ist.

Im einfachsten Fall kann man sogar auf die externe Frequenzmodulation FM verzichten und stattdessen die natürlichen Frequenzschwankungen des Lasers LA, seine Linienbreite, ausnutzen. Auch diese Frequenzschwankungen führen über die Laufzeitdifferenz  $|DT1-DT2|$  zu differenzieller Phasenmodulation zwischen OS1, OS2.

Desweiteren ist eine differenzielle Phasenmodulation DPM zwischen OS1 und OS2 auch dann vorhanden, wenn - alternativ zu Figur 1 - eine Sendeanordnung gemäß **Figur 2** mit zwei Sendern TX1, TX2 verwendet wird, welche orthogonal polarisierte optische Signale OS1, OS2 aussenden, die in einem sendeseitigen Polarisationsstrahlteiler PBSS kombiniert werden. Die optischen Sender werden mit Datensignalen SDD1 für den Sender TX1, und SDD2 für den Sender TX2 moduliert. Da die Differenzfrequenz FD zwischen zwei verschiedenen Lasern, welche in TX1, TX2 vorhanden sind, aber i.a. ohne besondere Maßnahmen nicht im MHz- oder gar Sub-MHz-Bereich stabil bleibt, ist die Ausführung gemäß Figur 2 weniger zu empfehlen als die nach Figur 1.

Ziel der Sendeanordnungen gemäß Figur 1 und Figur 2 ist jeweils die Randomisierung des Interferenzphasenwinkels; d.h. beispielsweise können im Fall vorhandener Frequenzdifferenz FD die cos- und die sin-Funktion der Phasendifferenz DPM zwischen OS1 und OS2 jeweils den Mittelwert Null besitzen.

Figur 2 zeigt auch den prinzipiellen Aufbau eines Übertragungssystems mit Polarisationsmultiplex (POLDM). Nach Zusam-

menführen der Signale OS1, OS2 durch PBSS können die Signale anschließend über einen Lichtwellenleiter LWL zu einem Empfänger RX mit einem Eingang EI übertragen werden. Da der Lichtwellenleiter i.a. nicht polarisationserhaltend ist, ergibt sich die Schwierigkeit, die beiden Signale OS1, OS2 wieder zu trennen.

Gemäß **Figur 3** besteht der Empfänger RX hier aus einem Separator/Detektor SD und nachgeschalteter Empfängerelektronik. Der Empfänger RX seinerseits aus zwei Empfängern RX1, RX2, die jedoch erfindungsgemäß durch weitere Baugruppen ergänzt werden.

Ein Separator/Detektor SD für PolDM ist in **Figur 4** gezeichnet. Das empfangene optische Signal wird vom Eingang EI einem endlosen Polarisationstransformator PT zugeleitet, welcher Steuersignale ST1, ST2 empfängt. Sowohl ST1 als auch ST2 können eines oder mehrere Signale darstellen. An seinem Ausgang ist ein Polarisationsstrahlteiler PBS angebracht, welcher orthogonal polarisierte Signalanteile an seinen Ausgängen OUT1, OUT2 zur Verfügung stellt. Die Ausgangssignale OUT1, OUT2 sollen im Idealfall die orthogonal polarisierten Signale OS1 bzw. OS2 sein; sie tun dies jedoch nur bei geeigneter Einstellung von PT und eines ggf. vorgeschalteten Kompensators von Polarisationsmodendispersion PMDC. Die Signale OUT1, OUT2 werden in Photodioden PD11, PD21 detektiert, welche elektrische detektierte Signale ED1, ED2 erzeugen.

Da PolDM ein mehrstufiges Modulationsverfahren ist, reagiert es empfindlich auf Einflüsse wie Polarisationsmodendispersion (PMD). In solchen Fällen kann es zweckmäßig sein, einen PMD-Kompensator PMDC wie z.B. in den deutschen Patenanmeldungen 19841755.1 und 19830990.2 beschrieben vor dem Polarisationstransformator PT vorzusehen. In **Figur 4** ist mit dem Eingang EI der Empfangseinrichtung RX ein stilisierter Lithiumniobatchip SUB verbunden, welcher PMD-Kompensator PMDC, Polarisationstransformator PT und Polarisationsstrahlteiler PBS inte-

griert. Statt des integrierten Aufbaus könnten beispielsweise auch der PMD-Kompensator PMDC weggelassen und Polarisationsstransformator PT und Polarisationsstrahlteiler PBS wie im Tagungsband der European Conference on Optical Communications 1993, Montreux, Schweiz, S. 401-404, Beitrag WeP9.3 beschrieben aufgebaut werden. Auch Ausführungsformen gemäß denen in den deutschen Patentanmeldungen 19858148.3, 19919576.5 sind möglich.

- 10 Die elektrisch detektierten Signale ED1, ED2 werden Entschlei-  
dern D1, D2 zugeleitet, welche auch die normalerweise erforderliche Taktrückgewinnung beinhalten und Datenausgangssignale DD1, DD2 ausgeben, welche im Idealfall logisch identisch sind mit den sendeseitigen Modulationssignalen SDD1 bzw.
- 15 SDD2. Auch Spezialschaltungen entsprechend International J. of High Speed Electronics and Systems, Band 9, 1998, No. 2 (H.-M. Rein, „Si and SiGe bipolar ICs for 10 to 40 Gb/s optical-fiber TDM links“) können eingesetzt werden.
- 20 Die Signale ED1, ED2 werden auch Filtern LED1 bzw. LED2 zugeleitet. Um den Aufwand gering zu halten, kann man z.B. den Strom an derjenigen Elektrode einer Photodiode messen, an der das Datensignal nicht abgenommen wird. Das hat den Vorteil, daß das Datensignal nicht verfälscht wird, und daß durch die an der anderen Elektrode der Photodiode vorhandene kapazitive Abblockung gegen Masse bereits wenigstens teilweise die gewünschte Filterung vorgenommen wird.
- e30 Filter LED1, LED2, LED12 selektieren bevorzugt Frequenzanteile, bei denen die durch die spezielle Ausprägung der Sendevorrichtung gemäß Figuren 1 oder 2 Interferenzerscheinungen zwischen den Signalen OS1 und OS2 auftreten. Im Fall einer Frequenzmodulation FM ist dies die Modulationsfrequenz (nicht der Modulationshub) von beispielsweise 1 MHz, aber auch andere Modulationsfrequenzen im Bereich von ca. 10 Hz bis 1 GHz
- 35 sind zumindest prinzipiell geeignet. Es können auch Vielfache der Modulationsfrequenz alleine oder zusammen mit ihr ausgewertet werden; das beste SNR erhält man aber in der Regel bei



Auswertung nur der Grundfrequenz durch ein ausreichend schma-  
les Bandpaßfilter. Filter LED1, LED2 werden also bevorzugt  
als Bandpaßfilter ausgelegt. Die Auslegung als Tiefpaßfilter  
mit Durchleitung des Gleichanteils ist ebenfalls möglich, we-  
5 gen ebendieser Gleichanteile aber i.d.R. nicht nützlich. Die  
Ausgangssignale der Filter LED1, LED2 werden Effektivwertde-  
tektoren DET1 bzw. DET2 zugeleitet. Statt Effektivwertdetek-  
toren können auch Leistungsdetektoren, Spitzenwertdetektoren  
und ähnliche Einrichtungen verwendet werden. In der Regel ist  
10 anschließend an Detektoren DET1, DET2 eine Tiefpaßfilterung  
mit Filtern LPF1 bzw. LPF2 notwendig. Die in diesen oder be-  
reits in tiefpaßfilternden Detektoren DET1, DET2 konditio-  
nierten Signale L1, L2 werden Reglern RG1, RG2 zugeleitet,  
deren Ausgangssignale ST1, ST2 im Separator/Detektor SD den  
15 Polarisationstransformator PT ansteuert. Die Regler RG1, RG2  
sind so ausgelegt, daß die Signale L1, L2 minimale Beträge  
annehmen, d.h., minimale Interferenzerscheinungen zwischen  
OS1 und OS2 anzeigen. Damit ist optimale Empfängerfunktion  
gewährleistet.

20 Der erfindungsgemäße, eben beschriebene Block DR des Empfän-  
gers RX kann in Fällen, in denen ein Separator/Detektor mit  
Polarisationsregler PT und anschließendem Polarisations-  
strahlteiler PBS - wie in Figur 4 dargestellt - ausgeführt  
ist, vereinfacht werden. Da Interferenzerscheinungen dann in  
beiden Empfängerzweigen stets entgegengesetzt sind (gleiche  
elektrische Signalpolaritäten der Empfängerzweige vorausge-  
setzt), wird in **Figur 5** für solche Fälle in einem Subtrahie-  
rer SUBED12 die Differenz zwischen den Signalen ED1, ED2 er-  
30 mittelt und diese einem wie DET1, DET2 aufgebauten Detektor  
DET12 zugeleitet. Es folgt ein wie LPF1, LPF2 aufgebautes  
Tiefpaßfilter LPF12 und ein Regler RG, welcher Stellsignale  
ST1, ST2 erzeugt. ER ist so ausgelegt, daß Signal L12 mini-  
miert wird. Prinzipiell wäre ein einziges Tiefpaßfilter LED12  
35 ausreichend; da breitbandige Subtrahierer SUBED12 jedoch auf-  
wendig sind, ist es i.d.R. günstiger, an den Eingängen eines  
entsprechend schmalbandigeren Subtrahierers SUBED12 zunächst

Filter LED1 bzw. LED2 vorzusehen und ggf. an dessen Ausgängen trotzdem ein weiteres, LED12, welches kaskadiert mit LED1 bzw. LED2 die gewünschte spektrale Formung ergibt.

- 5 Die Regler RG1, RG2, RG arbeiten bevorzugt nach einem Lock-In-Verfahren und besitzen vorzugsweise Integral- oder Proportional-Integral-Regelglieder.

10 Zusätzliche Signale und Regler können wie in den Proc. 9th European Conference on Integrated Optics (ECIO'99), April 14-16, 1999, Turin, Italien, postdeadline-paper-Band, S. 17-19 (D. Sandel et al., "Integrated-optical polarization mode dispersion compensation for 6-ps, 40-Gb/s pulses") beschrieben zur Regelung des PMD-Kompensators PMDC eingesetzt werden. Der  
15 Polarisationsstransformator PT ist prinzipiell ebenso aufgebaut wie der PMD-Kompensator PMDC, welcher in der gerade genannten Literaturstelle näher beschrieben ist und einfach die Kaskade mehrerer Modenwandler als Polarisationsstransformatoren darstellt. Die Steuersignale des Reglers RG werden dem  
20 Polarisationsstransformator PT zugeführt.

Durch sendeseitiges nichtideales Multiplex im sendeseitigen Polarisationsstrahlteiler PBSS, oder durch polarisationsabhängige Dämpfung oder Verstärkung im Lichtwellenleiter LWL kann es zu reduzierter Orthogonalität der empfangenen optischen Signale OS1, OS2 kommen. Gemäß **Figur 6** und **Figur 7** ist es in solchen Fällen günstig, nach Durchlaufen eines Leistungsteilers TE je einen Polarisationsstransformator PT1, PT2 mit ggf. vorgeschaltetem PMD-Kompensator PMDC1, PMDC2 und  
30 nachgeschaltetem Polarisationsstrahlteiler oder Polarisator PBS1, PBS2 einzusetzen. Für den Fall linearer Polarisationen sind die durch das Ausführungsbeispiel der Figur 7 erfindungsgemäß erreichten Polarisationsanpassungen in Figur 6 skizziert. Die empfangenen Signale OS1, OS2 sind nicht ortho-  
35 gonal zueinander polarisiert. Das Signal OUT1, welches durch PBS1 transmittiert wird, ist jedoch orthogonal zu OS2, und OUT2, welches durch PBS2 transmittiert wird, ist orthogonal

zu OS1. Daß OS1 nicht identisch mit OUT1 polarisiert ist und OS2 nicht identisch mit OUT2 polarisiert ist, führt zwar zu einem gewissen Signalverlust, der jedoch leichter zu ertragen ist als ein starkes Nebensprechen, welches sich gemäß dem Stand der Technik dann ergäbe, wenn man OS1 identisch mit OUT1 und OS2 identisch mit OUT2 machte.

Damit sich die Einstellungen gemäß Figur 6 ergeben, ist die Ausführung von DR gemäß Figur 5 nicht geeignet, es muß vielmehr die gemäß Figur 3 gewählt werden.

Je nach Art und Weise der Herstellung der differentiellen Phasenmodulation zwischen OS1 und OS2 können DR und insbesondere LED1, LED2, LED12, DET1, DET2, DET12 variiert werden. Verzichtet man bei vorhandener Laufzeitdifferenz  $|DT1-DT2|$  auf die Frequenzmodulation FM und erzeugt die differentielle Phasenmodulation DPM durch natürliche Frequenzschwankungen des Lasers LA, so sollten LED1, LED2, LED12 so ausgeprägt sein, daß wesentliche Teile des entstehenden, sich i.d.R. über mehrere MHz erstreckenden Interferenzspektrums durchgelassen werden. Verwendet man Frequenzverschieber PHMO1, PHMO2 oder differentielle Frequenzverschieber PHMO12 oder verschiedenfrequente Teilsender TX1, TX2, so sind LED1, LED2, LED12 auf die entstehende Differenzfrequenz zwischen OS1 und OS2 abzustimmen. Sind PHMO1, PHMO2 oder PHMO12 vorhanden und als (im Fall von PHMO12 differentieller) Phasenschieber ausgeprägt, so ergibt sich im Fall sägezahnförmiger Steuersignale (Serrodyndmodulation) dieselbe Situation wie bei Frequenzverschiebern, im Fall sinusförmiger Steuersignale jedoch ein Besselspektrum wie im Fall sinusförmiger Frequenzmodulation FM. Filter LED1, LED2, LED12 werden dann bevorzugt auf die Frequenz derjenigen nicht mit dem Gleichanteil identischen Bessellinie abgestimmt, welche die maximale Amplitude besitzt. Zweckmäßigerweise bildet man den Sender so aus, daß dies die Bessellinie mit der Modulationsgrundfrequenz (J1) ist.

Schließlich können durch Messung der Leistungen der Signale ED1, ED2 oder durch Ablesen des trotz Einregelung von PT verbleibenden Restanteils von L12 Signale gewonnen werden, welche zur Überprüfung und ggf. (langsamen) Nachregelung oder gezielten Vorverzerrung der sendeseitigen Polarisationsorthogonalität verwendet werden. Dies ermöglicht die Optimierung des Übertragungssystems derart, daß beispielsweise polarisationsabhängige Dämpfung des Lichtwellenleiters nicht nur nicht zu Nebensprechen führt, sondern auch zu keiner Benachteiligung eines der optischen Signale OS1, OS2 gegenüber dem anderen.

## Patentansprüche

1. Verfahren für die optische Informationsübertragung  
zueinander orthogonal polarisierter optischer Signale (OS1,  
5 OS2) mittels Polarisationsmultiplex, welche in einem Empfänger (RX) detektiert werden, dessen Eingang (EI) in einem Separator/Detektor (SD) mit einem von einem Regler (RG) gesteuerten Polarisationsstransformator (PT), einem nachgeschalteten polarisierenden Element (PBS) und diesem nachgeschalteten  
10 Photodetektoren (PD11, PD21) zur Erzeugung elektrischer detektierter Signale (ED1, ED2) verbunden ist,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß im Empfänger (RX) in einer Detektor-Regler-Baugruppe (DR)  
ein Interferenzsignal (FIO1, FIO2, FIO12) von einem Regler  
15 (RG1, RG2, RG) ausgewertet wird und zum Einstellen eines Polarisationsstransformators (PT1, PT2, PT) dient.

2. Verfahren nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
20 daß ein elektrisches detektiertes Signal (ED1, ED2) durch ein Filter (LED1, LED2, LED12) gefiltert wird, daß dessen Ausgangssignal einem Detektor (DET1, DET2, DET12) zugeleitet wird, der wenigstens näherungsweise den Effektivwert, die mittlere Leistung oder den Spitzenwert bestimmt, daß ggf.  
nach Tiefpaßfilterung eines Ausgangssignals eines solchen Detektors (DET1, DET2, DET12) ein Signal (L1, L2, L12) zur Verfügung steht, durch welches etwaige Interferenz der optischen  
Signale (OS1, OS2) in einem elektrischen detektierten Signal  
(ED1, ED2) angezeigt wird und das zur Vermeidung dieser In-  
30 terferenz von einem Regler (RG1, RG2, RG), welcher einen Polarisationsstransformator (PT1, PT2, PT) ansteuert, minimiert wird, falls dieses Signal (L1, L2, L12) mit stärker werdender Interferenz zunimmt, oder maximiert wird, falls dieses Signal  
(L1, L2, L12) mit stärker werdender Interferenz abnimmt.

35

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,  
dadurch gekennzeichnet,

daß im Separator/Detektor (SD) von getrennten Reglern (RG1, RG2) angesteuerte getrennte Polarisationstransformatoren (PT1, PT2) und nachgeschaltete getrennte polarisierendes Elemente (PBS1, PBS2) zum Empfang je eines der optischen Signale (OS1 oder OS2) verwendet werden, daß in dieser Detektor-Regler-Baugruppe (DR) getrennte Filter (LED1, LED2), Detektoren (DET1, DET2) und ggf. Tiefpaßfilter (LPF1, LPF2) zur Erzeugung getrennter Signale (L1, L2) dienen, welche Interferenz dieser optischen Signale (OS1, OS2) im entsprechenden elektrischen detektierten Signal (ED1, ED2) anzeigen und diesen getrennten Reglern (RG1, RG2) zugeführt werden.

4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß im Separator/Detektor (SD) ein von einem gemeinsamen Regler (RG) angesteuerter Polarisationstransformator (PT) und ein nachgeschaltetes polarisierendes Element (PBS), welches als Polarisationsstrahlteiler wirken kann, zum Empfang der optischen Signale (OS1, OS2) verwendet werden, daß in dieser Detektor-Regler-Baugruppe (DR) ein Subtrahierer (SUBED12) die Differenz ggf. durch getrennte Filter (LED1, LED2) gefilterter Anteile dieser elektrischen detektierten Signale (ED1, ED2) bildet, diese Differenz ggf. nach Filterung durch ein gemeinsames Filter (LED12) als ein Signal (FIO12) einem gemeinsamen Detektor (DET12) zur Erzeugung eines gemeinsamen Signals (L) dient, welches Interferenz dieser optischen Signale (OS1, OS2) in beiden elektrischen detektierten Signal (ED1, ED2) anzeigt und diesem gemeinsamen Regler (RG) zugeführt wird.

5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die sendeseitige Kohärenz dieser optischen Signale (OS1, OS2) und ein Filter (LED1, LED2, LED12) der Detektor-Regler-Baugruppe (DR) derart aneinander angepaßt werden, daß Interferenzerscheinungen zwischen diesen optischen Signalen (OS1, OS2) in einem elektrischen detektierten Signal (ED1, ED2) we-

nigstens näherungsweise optimal detektiert werden, während Rauschen in hohem Maße unterdrückt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5,

5 dadurch gekennzeichnet,  
daß sendeseitig eine Frequenzdifferenz (FD)  
durch Verwendung zweier unterschiedlicher Lasersender (TX1,  
TX2) für die optischen Signale (OS1, OS2),  
oder bei sendeseitiger Verwendung eines gemeinsamen Lasersen-  
10 ders (LA), dessen Signal in einem Leistungsteiler (PMC) auf  
zwei Zweige aufgeteilt wird, dort in Modulatoren (MO1, MO2)  
zur Erzeugung dieser optischen Signale (OS1, OS2) moduliert  
wird, welche anschließend mit orthogonalen Polarisationen zu-  
sammengeführt werden, durch einen Frequenzverschieber (PHMO1,  
15 PHMO2) für eines der optischen Signale (OS1, OS2) oder einen  
differentiellen Frequenzverschiebers (PHMO12) dieser beiden  
optischen Signale (OS1, OS2), wobei solche Frequenzverschie-  
bung auch durch als Funktion der Zeit wenigstens stückweise  
linear variable entsprechende Phasenverschiebung erzeugt wer-  
20 den kann, erzeugt wird,  
daß empfängerseitig dieses Filter (LED1, LED2, LED12) als  
Bandpaßfilter mit einer Mittenfrequenz wenigstens näherungs-  
weise gleich dieser Frequenzdifferenz (FD) ausgebildet ist.

7. Verfahren nach Anspruch 5,

dadurch gekennzeichnet,  
daß durch sendeseitige Verwendung eines gemeinsamen Lasersen-  
ders (LA), dessen Signal in einem Leistungsteiler (PMC) auf  
zwei Zweige aufgeteilt wird, dort in Modulatoren (MO1, MO2)  
30 zur Erzeugung dieser optischen Signale (OS1, OS2) moduliert  
wird, welche anschließend mit orthogonalen Polarisationen zu-  
sammengeführt werden,  
eine differentielle Phasenmodulation (DPM) zwischen diesen  
beiden optischen Signalen (OS1, OS2) erzeugt wird,  
35 daß empfängerseitig dieses Filter (LED1, LED2, LED12) als  
Bandpaßfilter mit einer Mittenfrequenz wenigstens näherungs-

weise gleich der Frequenz des spektralen Maximums dieser differentiellen Phasenmodulation (DPM) wirkt.

8. Verfahren nach Anspruch 7,

5 dadurch gekennzeichnet,  
daß diese differentielle Phasenmodulation (DPM) wenigstens näherungsweise sinusförmig ausgeprägt ist.

9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8,

10 dadurch gekennzeichnet,  
daß zwischen Aufteilung in einem Leistungsteiler (PMC) und Zusammenführung mit orthogonalen Polarisationen diese optischen Signale (OS1, OS2) eine Laufzeitdifferenz ( $|DT1-DT2|$ ) erfahren.

15

10. Verfahren nach Anspruch 9,

dadurch gekennzeichnet,  
daß dieser Sendelaser (LA) eine optische Frequenzmodulation (FM) erhält.

20

11. Anordnung für die optische Informationsübertragung zueinander orthogonal polarisierter optischer Signale (OS1, OS2) mittels Polarisationsmultiplex, mit einem Empfänger (RX) zur Detektion dieser optischen Signale (OS1, OS2), dessen Eingang (EI) in einem Separator/Detektor (SD) mit einem von einem Regler (RG) gesteuerten Polarisationstransformator (PT), einem nachgeschalteten polarisierenden Element (PBS) und diesem nachgeschalteten Photodetektoren (PD11, PD21) zur Erzeugung elektrischer detektierter Signale (ED1, ED2) verbunden ist,

30 dadurch gekennzeichnet,  
daß im Empfänger (RX) eine Detektor-Regler-Baugruppe (DR) zur Auswertung eines Interferenzsignals (FIO1, FIO2, FIO12) mittels eines Reglers (RG1, RG2, RG) und zum Einstellen eines Polarisationstransformators (PT1, PT2, PT) vorgesehen ist.

35

12. Anordnung nach Anspruch 11,

dadurch gekennzeichnet,



daß ein Filter (LED1, LED2, LED12) vorgesehen ist, in welchem ein elektrisches detektiertes Signal (ED1, ED2) gefiltert wird, daß ein Detektor (DET1, DET2, DET12) vorgesehen ist, der wenigstens näherungsweise den Effektivwert, die mittlere  
5 Leistung oder den Spitzenwert eines Ausgangssignals dieses Filters (LED1, LED2, LED12) bestimmt, daß ggf. nach Tiefpaßfilterung eines Ausgangssignals eines solchen Detektors (DET1, DET2, DET12) ein Signal (L1, L2, L12) zur Verfügung steht, durch welches etwaige Interferenz der optischen Signa-  
10 le (OS1, OS2) in einem elektrischen detektierten Signal (ED1, ED2) angezeigt wird, daß zur Vermeidung dieser Interferenz ein Regler (RG1, RG2, RG), welcher, falls dieses Signal (L1, L2, L12) mit stärker werdender Interferenz zunimmt, dieses minimiert, oder , falls dieses Signal (L1, L2, L12) mit stär-  
15 ker werdender Interferenz abnimmt, dieses maximiert, und ein von diesem angesteuerter Polarisationstransformator (PT1, PT2, PT) vorgesehen sind.

13. Anordnung nach Anspruch 11 oder 12,  
20 dadurch gekennzeichnet ,  
daß im Separator/Detektor (SD) getrennte Regler (RG1, RG2), von diesen angesteuerte getrennte Polarisationstransformatoren (PT1, PT2) und nachgeschaltete getrennte polarisierendes Elemente (PBS1, PBS2) zum Empfang je eines der optischen Signale (OS1 oder OS2) vorhanden sind, daß in dieser Detektor-Regler-Baugruppe (DR) getrennte Filter (LED1, LED2), Detektoren (DET1, DET2) und ggf. Tiefpaßfilter (LPF1, LPF2) vorgesehen sind, daß dadurch getrennte Signale (L1, L2) vorhanden sind, welche Interferenz dieser optischen Signale (OS1, OS2)  
30 im entsprechenden elektrischen detektierten Signal (ED1, ED2) anzeigen, daß diese getrennten Regler (RG1, RG2) diese getrennten Signale (L1, L2) als Eingangsgrößen besitzen.

14. Anordnung nach Anspruch 11 oder 12,  
35 dadurch gekennzeichnet ,  
daß im Separator/Detektor (SD) ein gemeinsamer Regler (RG), ein von diesem Regler (RG) angesteuerter Polarisationstrans-

formator (PT) und ein nachgeschaltetes polarisierendes Element (PBS), welches als Polarisationsstrahlteiler wirken kann, vorgesehen sind und zum Empfang der optischen Signale (OS1, OS2) verwendet werden, daß in dieser Detektor-Regler-Baugruppe (DR) ein Subtrahierer (SUBED12) vorgesehen ist, der die Differenz ggf. durch getrennte Filter (LED1, LED2) gefilterter Anteile dieser elektrischen detektierten Signale (ED1, ED2) bildet, daß ein gemeinsamer Detektor (DET12) vorgesehen ist, welchem diese Differenz ggf. nach Filterung durch ein gemeinsames Filter (LED12) als ein Signal (FIO12) zugeführt wird, daß dieser gemeinsame Detektor (DET12) zur Erzeugung eines gemeinsamen Signals (L) dient, welches Interferenz dieser optischen Signale (OS1, OS2) in beiden elektrischen detektierten Signal (ED1, ED2) anzeigt und daß dieser gemeinsame Regler (RG) dieses gemeinsame Signal (L) als Eingangsgröße besitzt.

15. Anordnung nach einem der Ansprüche 11 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß diese optischen Signale (OS1, OS2) eine sendeseitige Kohärenz besitzen, und daß ein Filter (LED1, LED2, LED12) der Detektor-Regler-Baugruppe (DR) derart ausgebildet ist, daß Interferenzerscheinungen zwischen diesen optischen Signalen (OS1, OS2) in einem elektrischen detektierten Signal (ED1, ED2) wenigstens näherungsweise optimal detektiert werden, während Rauschen in hohem Maße unterdrückt wird.

16. Anordnung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß sendeseitig eine Frequenzdifferenz (FD) zwischen den optischen Signalen (OS1, OS2) vorgesehen ist, daß zu deren Erzeugung zwei unterschiedliche Lasersender (TX1, TX2) vorgesehen sind oder daß zu deren Erzeugung ein gemeinsamer Lasersender (LA), dessen Signal in einem Leistungsteiler (PMC) auf zwei Zweige aufgeteilt wird, dort in Modulatoren (MO1, MO2) zur Erzeugung dieser optischen Signale (OS1, OS2) moduliert wird, welche

anschließend mit orthogonalen Polarisationen zusammengeführt werden, vorgesehen ist sowie ein Frequenzverschieber (PHMO1, PHMO2) für eines der optischen Signale (OS1, OS2) oder ein differentieller Frequenzverschiebers (PHMO12) dieser beiden optischen Signale (OS1, OS2), wobei solche Frequenzverschiebung auch durch als Funktion der Zeit wenigstens stückweise linear variable entsprechende Phasenverschiebung erzeugt werden kann,

daß empfängerseitig dieses Filter (LED1, LED2, LED12) als Bandpaßfilter mit einer Mittenfrequenz wenigstens näherungsweise gleich dieser Frequenzdifferenz (FD) ausgebildet ist.

17. Anordnung nach Anspruch 15,  
dadurch gekennzeichnet,

daß sendeseitig ein gemeinsamer Lasersender (LA), dessen Signal in einem Leistungsteiler (PMC) auf zwei Zweige aufgeteilt wird, dort in Modulatoren (MO1, MO2) zur Erzeugung dieser optischen Signale (OS1, OS2) moduliert wird, welche anschließend mit orthogonalen Polarisationen zusammengeführt werden, vorgesehen ist,

daß eine differentielle Phasenmodulation (DPM) vorgesehen ist, welche zwischen diesen beiden optischen Signalen (OS1, OS2) erzeugt wird,

daß empfängerseitig dieses Filter (LED1, LED2, LED12) als Bandpaßfilter mit einer Mittenfrequenz wenigstens näherungsweise gleich der Frequenz des spektralen Maximums dieser differentiellen Phasenmodulation (DPM) ausgebildet ist.

18. Anordnung nach Anspruch 17,

dadurch gekennzeichnet,  
daß diese differentielle Phasenmodulation (DPM) wenigstens näherungsweise sinusförmig ausgeprägt ist.

19. Anordnung nach Anspruch 17 oder 18,

dadurch gekennzeichnet,  
daß Laufzeitdifferenz ( $|DT1-DT2|$ ) vorgesehen ist zwischen Aufteilung in einem Leistungsteiler (PMC) und Zusammenführung

19

mit orthogonalen Polarisationen diese optischen Signale (OS1, OS2).

20. Anordnung nach Anspruch 19,  
5 dadurch gekennzeichnet,  
daß eine optische Frequenzmodulation (FM) vorgesehen ist, die  
dieser Sendelaser (LA) erhält.

## Zusammenfassung

Verfahren und Anordnung für die optische Informationsübertragung mittels Polarisationsmultiplex

5

Ein Empfänger für optische Signale (OS1, OS2) mit Polarisationsmultiplex enthält Bandpaßfilter (LED1, LED2), Effektivwertdetektoren (DET1, DET2), Tiefpaßfilter (LPF1, LPF2) und  
10 Regler (RG1, RG2) zur Einregelung von Polarisationstransformatoren in einem Separator/Detektor (SD) derart, daß Interferenzerscheinungen in den elektrischen detektierten Signalen (ED1, ED2) zwischen diesen optischen Signalen (OS1, OS2),  
welche sendeseitig durch Frequenzmodulation eines Lasers,  
15 Aufteilung mit anschließender Intensitätsmodulation jedes dieser optischen Signale (OS1, OS2) und Zusammenführung mit orthogonalen Polarisationen und Laufzeitdifferenz randomisiert werden, minimiert werden.

20 Figur 3

## Bezugszeichenliste

	LA	Laser, Sendelaser, Lasersender
	FM	Frequenzmodulation
5	PMC	Koppler, polarisationserhaltender Koppler
	MO1, MO2	Modulatoren
	SDD1, SDD2	Modulationssignale
	OS1, OS2	Optische Teilsignale
	PHMO1, PHMO2	Phasenmodulator
10	PBSS	Sendeseitiger Polarisationsstrahlteiler
	PHMO12	Differentieller Phasenmodulator
	DPM	Differentielle Phasenmodulation
	FD	Frequenzdifferenz
	DT1, DT2	Laufzeiten
15	DT1-DT2	Laufzeitdifferenz, genauer gesagt: Betrag der Laufzeitdifferenz
	TX1, TX2	Optische Sender, Sendelaser
	LWL	Lichtwellenleiter
	RX	Empfänger
20	EI	Eingang des Empfängers
	SD	Separator/Detektor
	SPi	Regelsignale für PMD-Kompensator(en)
	RPi, RP	Regler für PMD-Kompensator(en)
	ST1, ST2	Steuersignale für Polarisationstransformator(en)
	RG1, RG2, RG	Regler für Polarisationstransformator(en)
	ED1, ED2	Elektrische detektierte Signale
	D1, D2	Entscheider einschließlich Taktrückgewinnung, Regenerator
30	DR	Detektor-Regler-Einheit
	LED1, LED2, LED12	Tiefpaßfilter
	FIO1, FIO2, FIO12	Tiefpaßgefilterte Signale
	SUBED12	Subtrahierer
	DET1, DET2	Detektor, Effektivwertmesser, Leistungsmesser, Spitzenwertmesser
35	LPF1, LPF2, LPF12	Tiefpaßfilter
	L1, L2, L12	Reglereingangssignale, welche Interferenz

		anzeigen
	CLi	Taktsignale
	DDMi	Demultiplexer/Entscheider
	DDij	Ausgangssignale von Demultiple-
5		xer/Entscheidern
	DMi	analoge Demultiplexer
	Dij	analoge Ausgangssignale von Demultiple-
		xern
	Kij	Korrelatoren
10	KPij	Korrelationsprodukte
	Lij	Tiefpaßfilter
	PD11, PD21	Photodioden
	PBS	Polarisierendes Element,
		Polarisationsstrahlteiler,
15	PBS1, PBS2	Polarisierende Elemente, Polarisatoren
	PT, PT1, PT2	Polarisationstransformatoren
	PMDC, PMDC1, PMDC2	Kompensatoren von
		Polarisationsmodendispersion
	SUB, SUB1, SUB2	Substrat, Lithiumniobatsubstrat
20	OUT1, OUT2	Optische Signale hinter polarisierenden
		Elementen
	TE	Leistungsteiler
	SUB, SUBi	Substrate
	x, y	Koordinaten für horizontale/vertikale Po-
		larisation

Figure 1

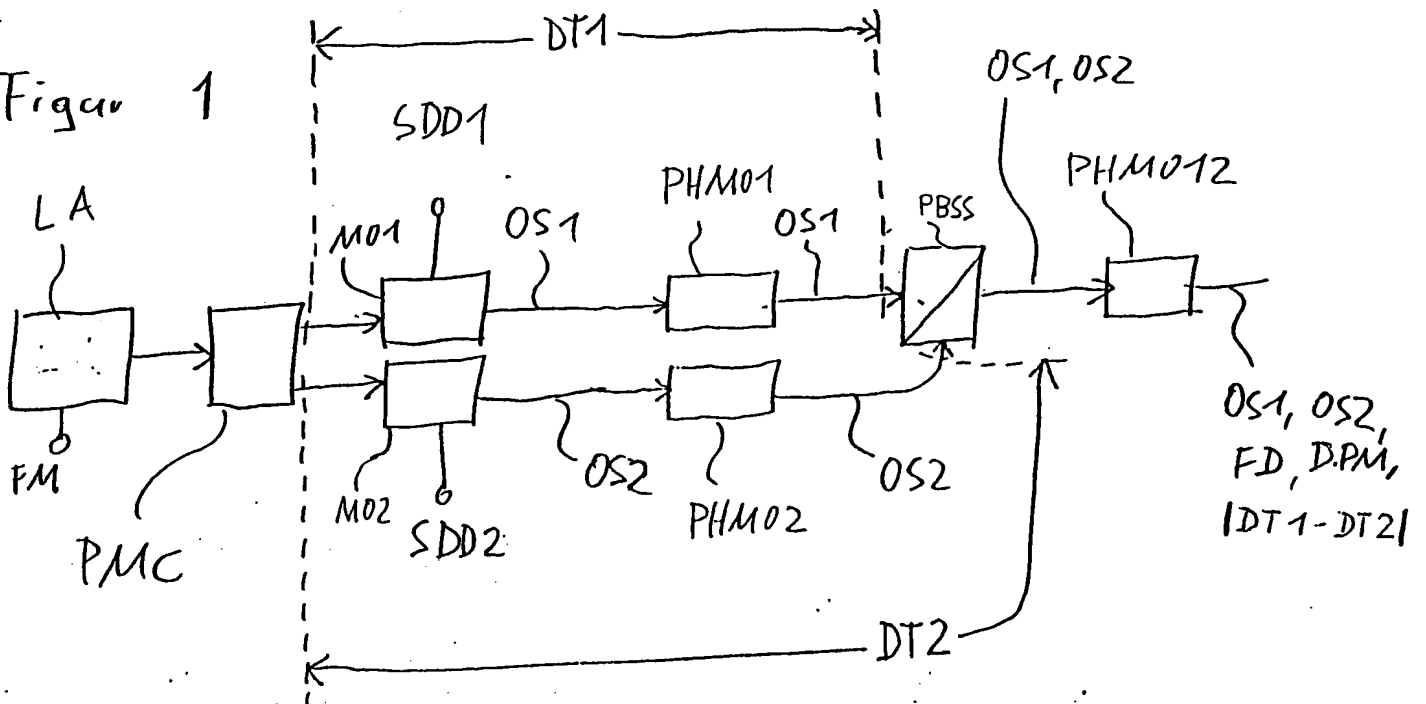




FIG 2

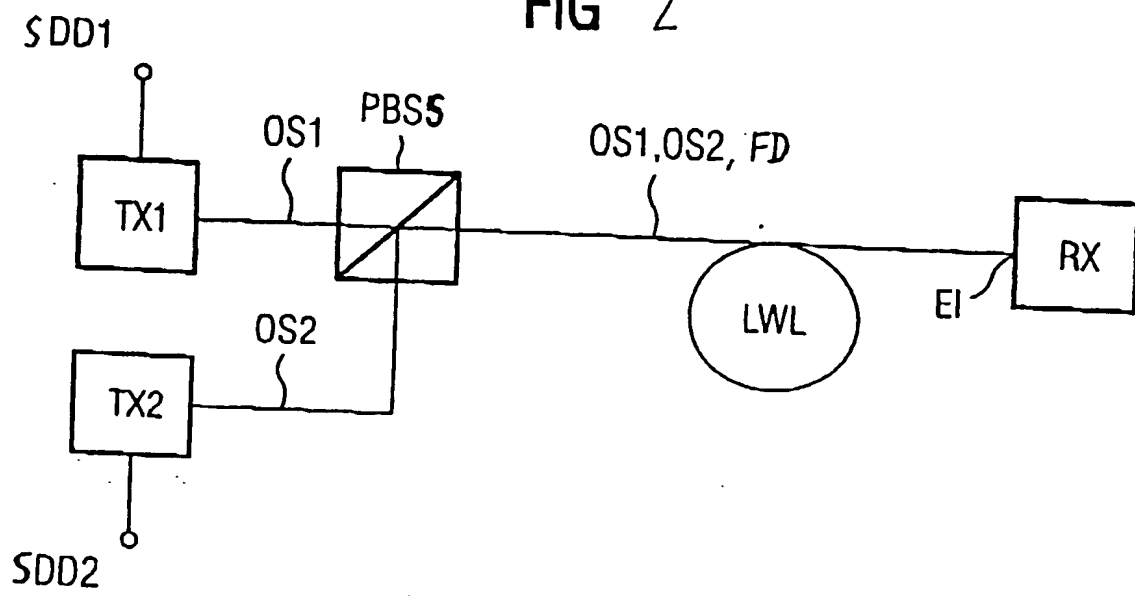
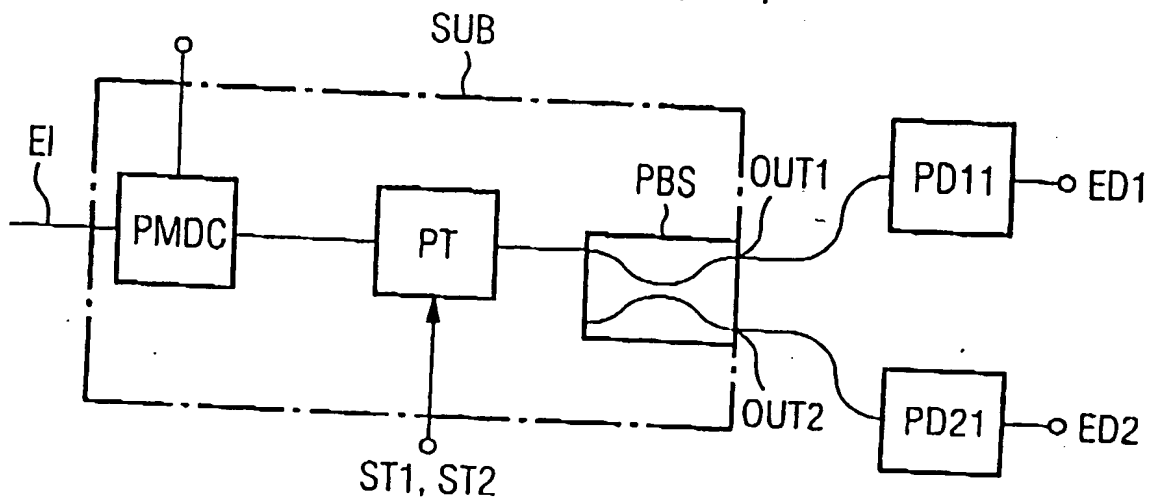
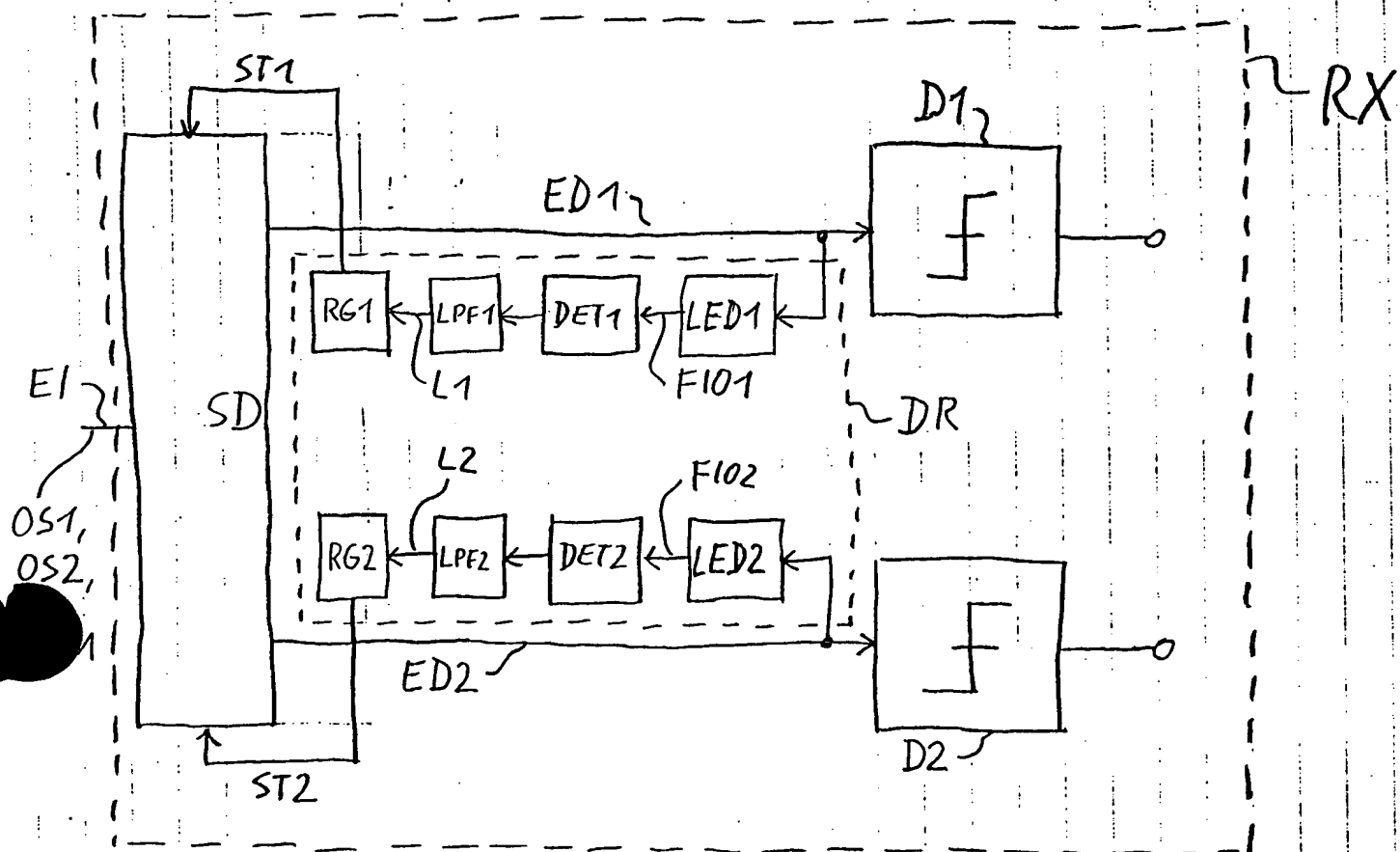
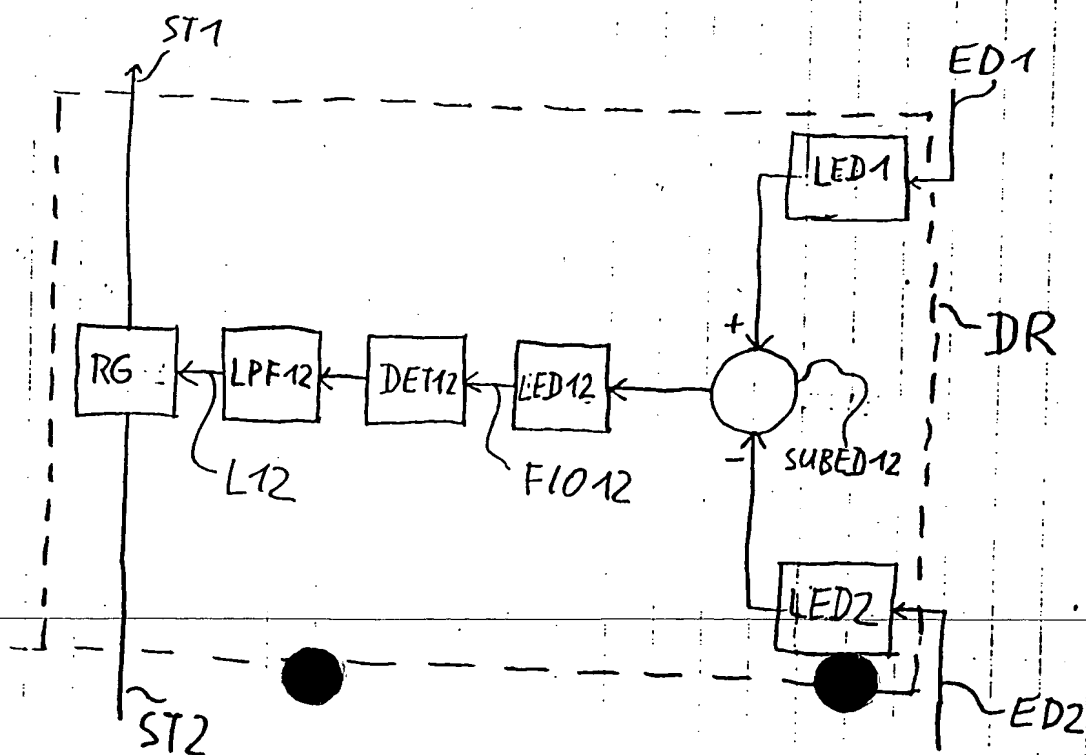


FIG 4





FIGUR 3



FIGUR 5

FIG 6

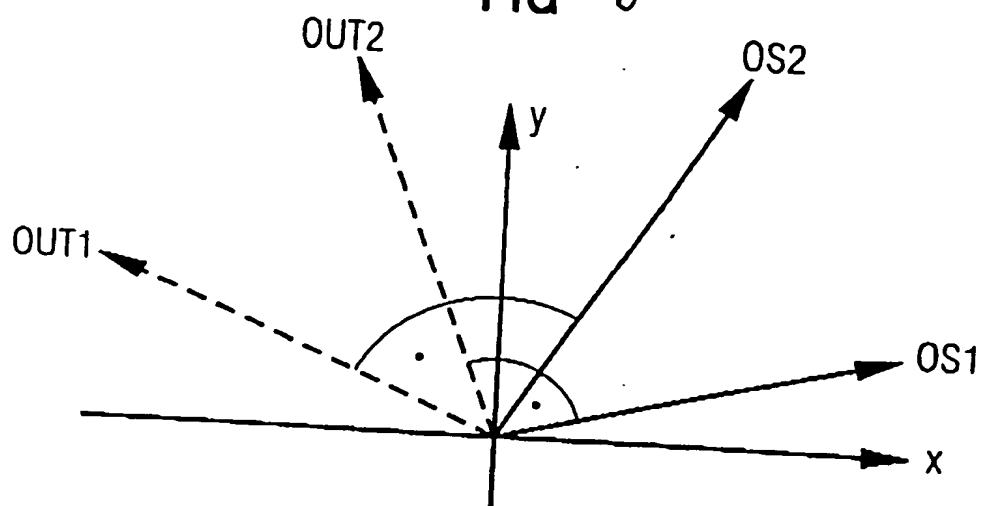
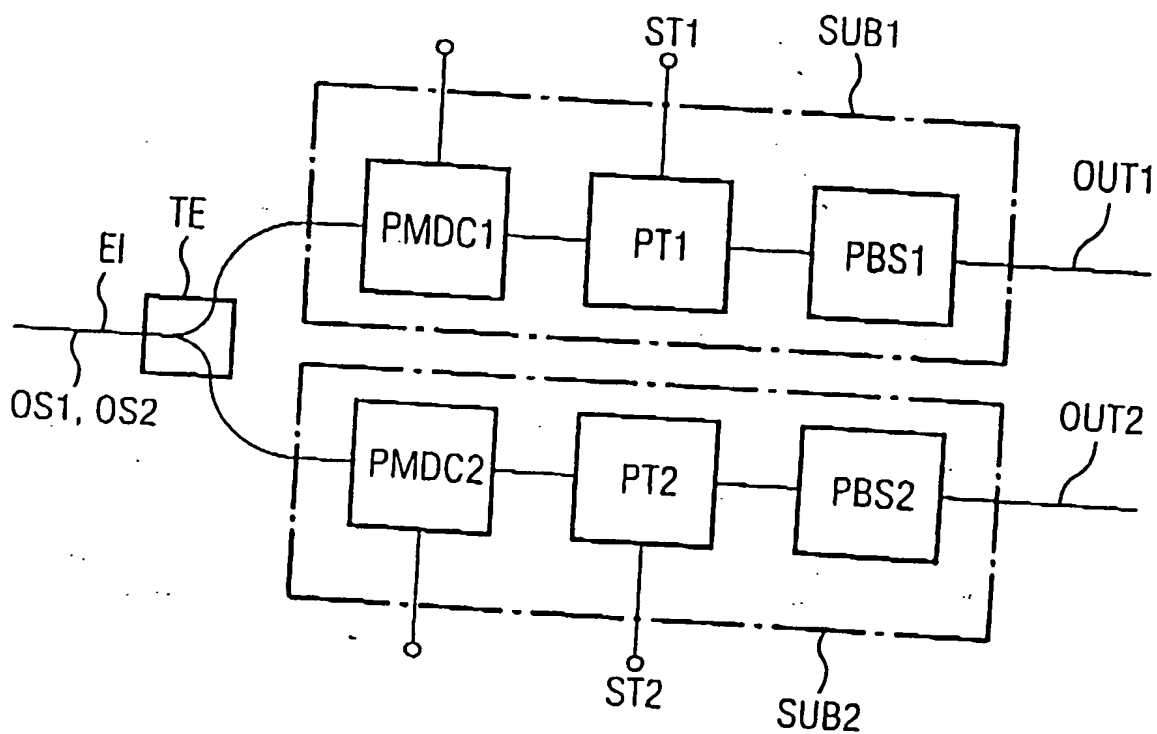


FIG 7



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**